

Рисунок 1 – Залежність загальної довжини трубок теплообмінника від кількості трубок та їх довжини поперечно потоку

дат, 1992. 280с.

- Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977. 552с.

типу теплообмінного устаткування з використанням розвинених поверхонь теплообміну.

ЛІТЕРАТУРА

- Клімов Р.О. Теплоенергетичні системи промислових підприємств: навч. посіб. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. 200с.
- Кузнецов Ю.В. Сжатый воздух. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 512с.
- Маньковский О.Н. Теплообменная аппаратура химических производств. Л.: Химия, 1976. 368с.
- Кунтыш В.Б. Тепловой и аэродинамический расчеты ребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиз-

Надійшла до редколегії 02.03.2020.

УДК 664.2.032.1

DOI 10.31319/2519-2884.36.2020.15

СОКОЛОВСЬКА І.Є., к.т.н., доцент
ЧУМАК К.В., магістр

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПОРИСТОГО ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ У ВИХРОВОМУ АПАРАТІ

Вступ. Для теплового захисту енергетичних установок в промисловості використовуються різні пористі теплоізоляційні матеріали. Властивості цих матеріалів і область їх застосування залежать від хімічного складу, теплофізичних характеристик компонентів і способу їх виробництва.

До найбільш характерних недоліків технологій виробництва легких пористих теплоізоляційних матеріалів можна віднести тривалість процесу виробництва, погану контрольованість процесу утворення пор, низьку міцність, неможливість домогтися однорідної пористості, токсичність продуктів розкладання органічних газотворювачів, їх високу вартість. Недоліком неорганічних газотворювачів є погана сумісність з органічними полімерами, що ускладнює їх рівномірний розподіл в сумішах.

При температурах вище 800°C практично всі пористі теплоізоляційні матеріали на основі силікатів втрачають пластичність, гнучкість, ударну в'язкість, стають крихкими і змінюють свою первинну форму.

Тому дослідження, спрямовані на розробку обладнання і технології виробництва матеріалів, здатних працювати при значних температурних градієнтах, термостійких та таких, що не змінюють своїх початкових міцнісних і теплоізоляційних властивостей при впливі високих або низьких температур є актуальними і потребують подальшого розвитку.

Постановка задачі. У доступних літературних джерелах наводяться залежності споживчих властивостей утеплювачів, але визначення функціональної залежності теплофізичних характеристик від структурних параметрів матеріалу залишається актуальним завданням.

У даній роботі наведено результати досліджень, які дозволяють визначити таку функціональну залежність в загальному вигляді.

Як встановлено, теплофізичні властивості досліджуваних пористих матеріалів залежать в основному від їх щільності і теплопровідності [1, 2]. В свою чергу щільність і теплопровідність теж залежать від багатьох чинників, зокрема від термічних режимів спучування при паротворенні на стадії виготовлення пористого матеріалу. Так, в залежності від вологості, часу витримки і температури нагріву вихідної сировини істотно змінюється щільність матеріалу і, відповідно, зі зміною густини змінюється і його теплопровідність.

Позитивною особливістю цієї залежності є те, що вона може бути керованою, а отже, прогнозованою.

Нами проведено ряд експериментів з дослідження теплофізичних властивостей пористих матеріалів при різних термічних режимах їх обробки, в яких матеріал нагрівався при різних температурах, вологості і часі, які змінювались в заданих діапазонах [3, 4]. Процес досліджувався при стаціонарних умовах. Матеріал нагрівали в муфельній горизонтальній печі СШОЛ, глибиною 200...250мм, діаметром 100...120мм, з регульованою на певний режим термопарою ХА 0-1100. Заготовки розміщувалися на поді печі в тиглях. В якості досліджуваних показників процесу термічної обробки матеріалу були взяті щільність і теплопровідність (табл.1). На підставі експериментально знайдених значень щільності отримано залежності, показані на рис.1-3.

Таблиця 1 – Результати експерименту

№ з/п	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂
1	+1	+1	+1	580	0,126
2	-1	+1	+1	1948	0,093
3	+1	-1	+1	2050	0,148
4	-1	-1	+1	2050	0,100
5	+1	+1	-1	683	0,145
6	-1	+1	-1	1450	0,148
7	+1	-1	-1	1850	0,135
8	-1	-1	-1	2100	0,143
9	-1,215	0	0	960	0,08
10	+1,215	0	0	648	0,07
11	0	-1,215	0	2136	0,097
12	0	+1,215	0	1820	0,061
13	0	0	-1,215	1192	0,082
14	0	0	+1,215	894	0,061
15	0	0	0	1290	0,076

X₁ – температура (T₋₁=100°C; T₀=300°C; T₊₁=500°C);

X₂ – час термічного впливу (t₋₁=1с; t₀=3с; t₊₁=5с);

X₃ – вологість матеріалу (φ₋₁=0%; φ₀=30%; φ₊₁=60%);

Y₁ – щільність матеріалу, кг/м³;

Y₂ – теплопровідність матеріалу, Вт/(м·К).

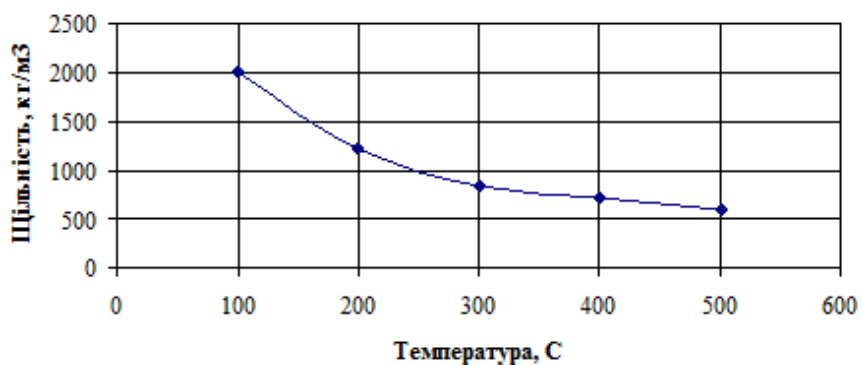
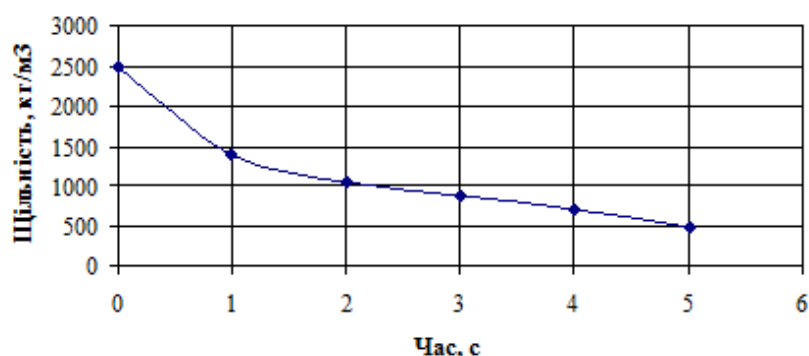
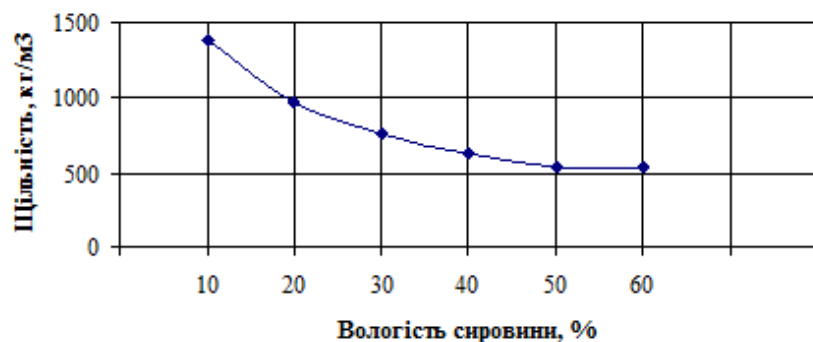


Рисунок 1 – Залежність щільності матеріалу від температури термообробки

Рисунок 2 – Зміна щільності за часом при $T=500^{\circ}\text{C}$ Рисунок 3 – Залежність щільності від початкової вологості сировини при $T_{\text{печі}}=500^{\circ}\text{C}$

У ході експериментів досліджувався вплив температури в печі X_1 , часу термічної дії X_2 , вологості матеріалу X_3 на його густину Y_1 і теплопровідність Y_2 . Для моделювання процесу термічної обробки використовувалися методи планування експерименту. Для побудови квадратичної моделі залежності показника « Y » від досліджуваних факторів X_k , $k = 1; 2; 3$, використовувався ортогональний центральний композиційний план другого порядку з ядром 23 [5]. У табл.2 наведено рівні факторів в експерименті та їх фактичні значення.

Таблиця 2 – Умови проведення експерименту

№ з/п	Фактор	Код	Рівні факторів					Δ
			-1,215	-1	0	1	1,215	
1	Температура, $^{\circ}\text{C}$	X_1	57	100	300	500	543	200
2	Час впливу, с	X_2	0,57	1	3	5	5,43	2
3	Вологість матеріалу, %	X_3	5,7	10	30	50	54,3	20

Результати роботи. Після обробки результатів експериментів отримано наступну модель залежності:

$$Y_1 = 110,13 - 252X_1 - 344X_2 + 16,7X_3 - 164X_1^2 + 6344X_2^2 - 1,6X_3^2 - 2356X_1X_2 - 43,9X_1X_3 + 30,6X_2X_3 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,046 + 0,005X_1 - 0,004X_2 - 0,012X_3 + 0,026X_1^2 + 0,031X_2^2 + 0,023X_3^2 - 0,001X_1X_2 + 0,012X_1X_3 - 0,005X_2X_3 \quad (2)$$

де X_k ($k=1;2;3$) – кодовані значення факторів.

Для перевірки значущості відмінності від нуля отриманих коефіцієнтів моделей за результатами чотирьох повторних дослідів в нульовій точці ($X_1 = X_2 = X_3 = 0$) значення Y_1 : 1346, 1259, 1389, 1166; і Y_2 : 0,076; 0,071; 0,087; 0,071 знайдено дисперсію помилки дослідів. Після обчислення за формулою

$$S^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^4 (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (3)$$

отримано $S_1 = 98,78$ і $S_2 = 0,0075$.

З урахуванням отриманої дисперсії помилки дослідів знайдено пороги значущості для різних ефектів факторів, де ($k = 1; 2; 3$), $t_{\text{табл}}$ – табличне значення статистики Стьюдента, знайдене для рівня значущості і числа ступенів свободи $\varphi = 3$, $t_{\text{табл}} = (0, 05; 3) = 3,18$ [5, 6], – елементи дисперсної матриці для відповідних ефектів факторів.

У результаті отримуємо значення для щільності та теплопровідності відповідно: для лінійних ефектів 0,961 і 0,007; для квадратичних – 1,525 і 0,011; для парних ефектів взаємодії чинників 1,125 і 0,008, кожен ефект факторів вважається значущо відмінним від нуля, якщо відповідний йому модуль коефіцієнта, що стоїть при ньому в моделі, більший від порога значимості для даного ефекту, для лінійних ефектів більший ніж 94,98, для квадратичних – 150,7, для ефектів взаємодії фактів більший ніж 111,1.

У результаті для факторів, що значущо впливають, і їх ефектів взаємодії отримано наступні моделі для їх кодованих значень:

$$Y^E_1 = 110,01 - 252X_1 - 344X_2 - 164X_1^2 + 6344X_2^2 - 2356X_1X_2, \quad (4)$$

$$Y^E_2 = 0,046 - 0,012X_3 + 0,026X_1^2 + 0,031X_2^2 + 0,023X_3^2 + 0,012X_1X_3 \quad (5)$$

У ході досліджень встановлено наступні закономірності. Найбільш сильний вплив на щільність готового теплоізоляційного матеріалу [7] має час термообробки матеріалу в печі. Причому, чим він більший, тим менша щільність матеріалу. Це пояснюється тим, що в заданому температурному діапазоні протягом досліджуваного періоду часу в матеріалі відбувалися процеси зневоднення і зміцнення каркасу. Якщо істотно (за діапазоном вимірювання) підвищити вологість сировинної заготовки, то матеріал буде менш щільним, і цей фактор став би домінуючим. Але при цьому міцність готового матеріалу не відповідає споживчим якостям.

Температура також обернено впливає на щільність. Ці залежності відображені в рівняннях (4), (5) відповідними коефіцієнтами і знаками при них.

На теплопровідність впливає крім названих чинників і вологість сировинної заготовки. Причому, чим вища початкова вологість, тим меншого значення набуває теплопровідність готового матеріалу, що також кількісно відображає рівняння (5) для Y^E_2 .

Для перевірки адекватності отриманих моделей (1) за формулою

$$S_{\text{ОСТ}}^2 = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y^E_i)^2, \quad (6)$$

знайдено залишкову дисперсію S_{OCT}^2 , де Y_i , Y_i^E – відповідно фактичні та розрахункові значення показника Y в i -му досліді, $i = 1, \dots, 15$, n – число дослідів, m – число коефіцієнтів в моделі, $m = 6$. В результаті розрахунків за формулою (2) $S_{OCT1}^2 = 55660,7$ і $S_{OCT2}^2 = 0,00033$.

Перевірка адекватності отриманої моделі істинної залежності проводилась за критерієм Фішера. Розрахункове значення статистики Фішера:

$$F_P = \frac{S_{OCT}^2}{S^2}; \quad (7)$$

$F_{P1} = 5,704$ і $F_{P2} = 5,8$, що менше табличного значення $F_{ТАБЛ} = (0,05; 9; 3) = 8,812$. Так як $F_P < F_{ТАБЛ}$, то отримані моделі адекватні істинній залежності, і з вірогідністю 0,95 вона може використовуватися для аналізу і прогнозу залежності щільності і теплопровідності від температури, часу впливу, вологості матеріалу в області, близькій до області проведення експерименту.

Виходячи з наведених вище даних щільності і теплопровідності, можна визначити залежність цих двох параметрів один від одного (рис.4).

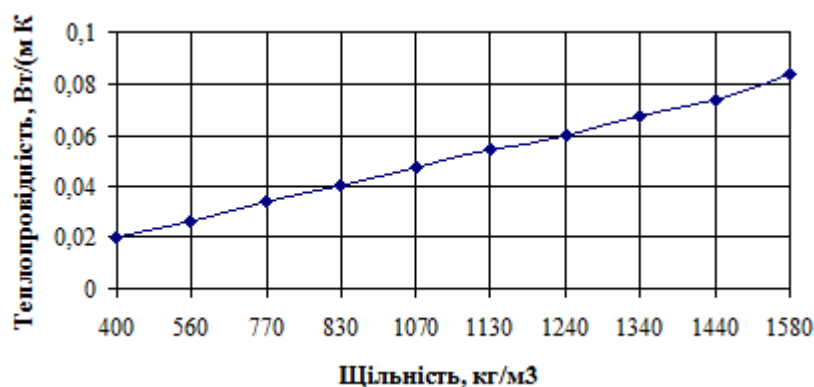


Рисунок 4 – Залежність теплопровідності від щільності матеріалу при $T_{сер} = 250^\circ\text{C}$

Висновки. Виходячи з отриманих залежностей, можна зробити висновок про те, що зі збільшенням щільності росте і значення коефіцієнта теплопровідності матеріалу, тобто для отримання матеріалу з найкращими теплоізоляційними властивостями необхідно досягати меншої щільності матеріалу, але при цьому і з необхідною міцністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чураев Н.В. Физикохимия процессов массопереноса в пористых телах. М.: Химия, 1990. 272с.
2. Горлов В.Н., Мерлин А.И. Технология производства теплоизоляционных материалов. М.: Химия, 1987. 236с.
3. Соколовская И.Е., Кошлак А.В., Павленко А.М. Черниченко В.Е. Моделирование процесса термообработки сырья для производства пористого теплоизоляционного материала. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки)*. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2010. Випуск №1 (14). С.170-174.
4. Соколовська І.Є. Дослідження кінетики теплової обробки пористого теплоізоляційного матеріалу. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. Кам'янське: ДДТУ, 2018. Випуск 2 (33). С.63-66.

5. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / Хартман К. и др. М.: Мир, 1977. 552с.
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279с.
7. Пат. 25862 Україна. МПК С 04 В 14/00. Сировинна суміш для пористого теплоізоляційного матеріалу / Соколовська І.Є., Кошлак Г.В., Павленко А.М., заявник і власник Дніпродз. держ. техн. ун-т. № 200703899; заявл. 10.04.2007; опубл. 27.08.2007, Бюл. №13, 2007р.

Надійшла до редколегії 10.03.2020.

УДК 620.92:697.329

DOI 10.31319/2519-2884.36.2020.16

ГЛУЩЕНКО О.Л., к.т.н., доцент
РАВИТКІНА С.В., магістр
ПОДОДНЯ А.П., бакалавр

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОДНО-ОЗДОРОВЧОГО КОМПЛЕКСУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вступ. Енерго- та ресурсозбереження – це глобальна проблема людства, що пов'язується, перш за все, з обмеженістю найважливіших органічних і мінерально-сировинних ресурсів планети. Сьогодні, коли проблема наростаючого дефіциту невідновлюваних природних енергоресурсів реально існує, а ціни на них нестримно зростають і будуть зростати надалі, впровадження енергозберігаючих технологій генерації теплоти і використання нетрадиційних, відновлюваних енергоджерел стає життєво необхідним. Іншою гострою світовою проблемою є екологічна проблема підтримки здорового і комфортного середовища існування людини. Сьогодні головним джерелом енергії служить викопне паливо, спалювання якого руйнує навколишнє середовище і викликає зміну клімату. Використання нетрадиційних джерел енергії є одним із самих ефективних заходів, що можуть бути застосовані для оздоровлення повітряного та водного басейнів; їх значення зростає і в зв'язку з об'єктивним подорожчанням традиційних паливних ресурсів – нафти, газу, вугілля.

Постановка задачі. Метою роботи є визначення:

- 1) найбільш економічного режиму роботи геліоустановки з тепловим насосом, встановлених сумісно із газовим котлом, та визначення кількості зекономленого газу у разі впровадження розробленої схеми;
- 2) теплового навантаження опалення та гарячого водопостачання протягом року у водно-оздоровчому комплексі (ВОК).

На основі наведених схем підключення сонячних колекторів та теплових насосів розрахувати необхідну теплову потужність обладнання, а саме теплове навантаження сонячного колектору, необхідну площу та об'єм теплового акумулятора для кожного місяця опалювального періоду.

Результати роботи. Для розробки та запровадження нової системи опалення ВОК на основі використання нетрадиційних джерел енергії треба визначити теплові навантаження на об'єкт дослідження. Результати розрахунку представлено у табл.1.

За результатами розрахунків до встановлення приймається система опалення з низькотемпературним графіком регулювання 75/50°C. На рис.1 наведено температурний